

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh kadar uap air terhadap kecepatan api laminar dengan menggunakan bahan bakar metana, maka dapat digunakan untuk memberi penjelasan secara terstruktur mengenai pengaruh kadar uap air terhadap kecepatan api laminar dengan menggunakan bahan bakar metana.

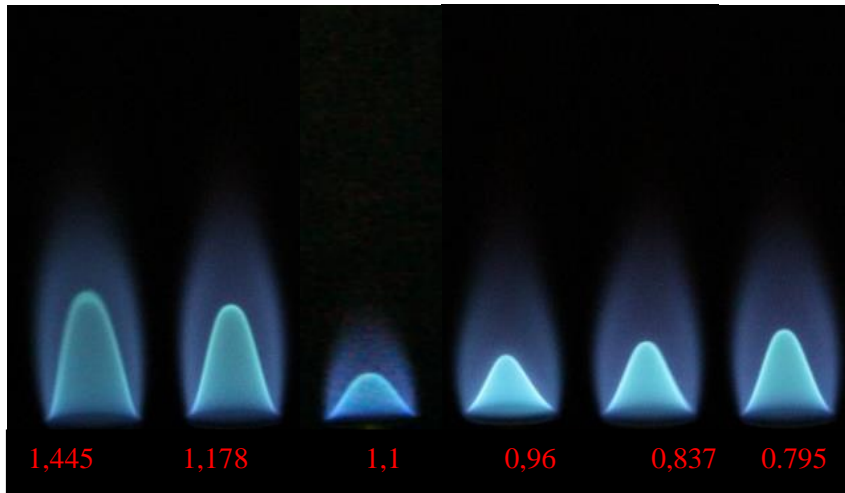
Pada penelitian yang dilakukan, terdapat 2 buah data hasil penelitian yaitu data visual dalam bentuk gambar dari masing-masing api pada *burner* dengan memvariasikan *equivalence ratio* dan dengan variasi kadar uap air, serta data perhitungan seperti temperature api, tinggi api, sudut api dan SL (kecepatan api laminar) yang didapatkan melalui perkalian kecepatan reaktan dan sudut api yang terbentuk seperti pada persamaan (2-5).

Penelitian serta pengambilan data dilakukan pada kondisi temperatur ruang serta pada saat api stasioner. Pada analisa data kecepatan nyala api semua data dikelompokkan berdasarkan jenis datanya dari rasio ekuivalen rendah sampai rasio ekuivalen tinggi dan dari kadar uap air rendah sampai ke kadar uap air tinggi. Hal yang dibandingkan pada penelitian kali ini adalah mengenai temperatur, tinggi api serta kecepatan api laminar dari masing masing variasi. Sehingga didapatkan perbandingan nyala api antara *equivalence ratio* dan kadar uap air dengan bahan bakar metana.

4.1 Data Visualisasi Nyala Api

Pada data visual nyala api pada *bunsen burner*, gambar diurutkan berdasarkan besar nilai *equivalence ratio* dan nilai kadar uap air dari nilai terendah hingga nilai tertinggi, sehingga nantinya dapat dilihat perbandingan dan perbedaan yang terdapat pada masing-masing data visual yang telah didapat melalui penelitian.

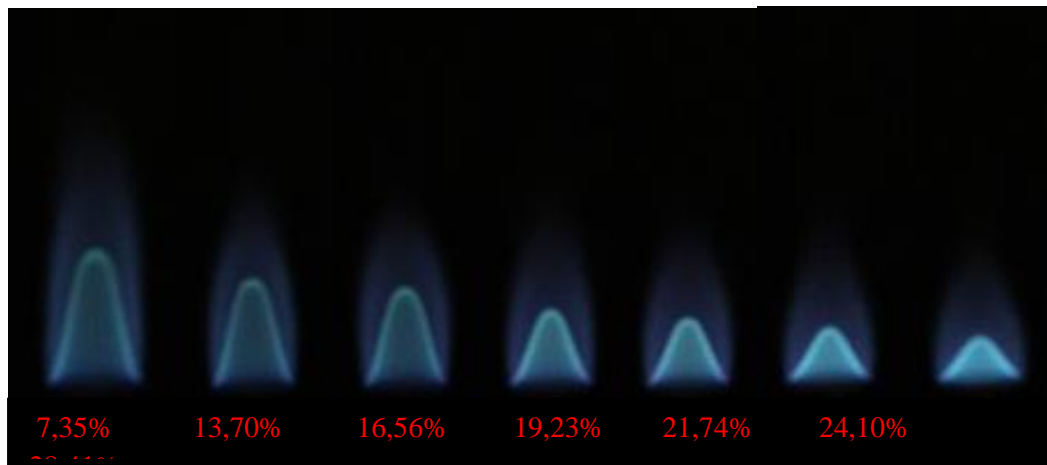
Pada penelitian ini diambil 6 data visual nyala api yang diurutkan sesuai penurunan *equivalence ratio*.



Gambar 4.1 Visualisasi nyala api variasi *equivalence ratio* dengan kadar uap air tetap

Gambar 4.1 menunjukkan bentuk nyala api pada *bunsen burner* dengan *equivalence ratio* 0,795; 0,837; 0,96; 1,1; 1,178 dan 1,445. Dari data visual diatas nanti akan diolah sehingga nilai S_L dari tiap nyala api dapat diketahui.

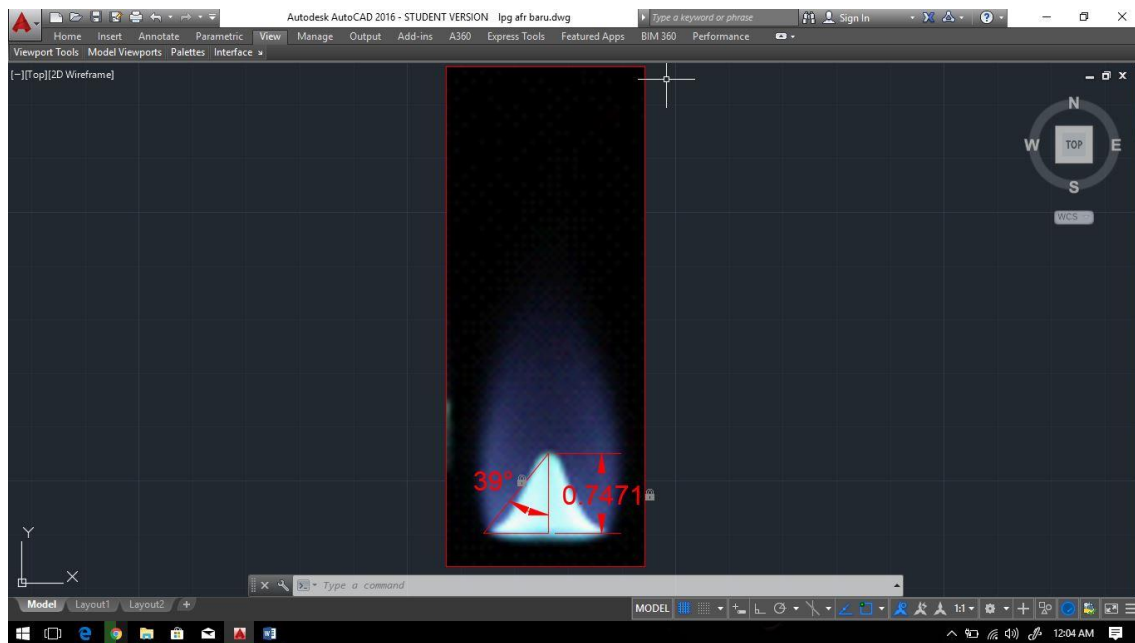
Diambil 7 data visual variasi kadar uap air yang diurutkan berdasarkan kadar uap air terendah hingga kadar uap air tertinggi.



Gambar 4.2 Visualisasi nyala api variasi kadar uap air dengan *equivalence ratio* tetap

Gambar 4.2 menunjukkan nyala api dengan variasi kadar uap air sebesar 7,35%; 13,70%; 16,56%; 19,23%; 21,74%; 24,10% dan 28,41%. Data tersebut diambil untuk dapat mengetahui nilai S_L nyala api.

4.2 Pengolahan Data Visual Nyala Api



Gambar 4.3 Pengolahan data visual nyala api

Gambar 4.3 menunjukkan cara mendapatkan sudut dan tinggi api pada aplikasi *AutoCad* 2016 dimana skala pada lembar kerja diatur 1:1. Data sudut api didapat dengan menarik garis tegak lurus terhadap alas *bunsen burner* dan menarik garis dari puncak segitiga api ke ujung alas *bunsen*. Melalui garis tegak lurus tersebut juga akan didapatkan data tinggi api.

Dari data yang diambil dari gambar visual diatas dapat dihitung kecepatan api laminar (S_L) setelah menghitung kecepatan reaktan (v) terlebih dahulu. Kecepatan reaktan dapat dihitung dengan rumus (2-6). Sebagai contoh perhitungan kecepatan reaktan diambil nilai *equivalence ratio* 1,445.

$$\begin{aligned}\text{Luas alas (A}_b\text{)} &= 0,786 \text{ cm}^2 \\ \text{Debit udara (Q}_{\text{air}}\text{)} &= 1,1 \text{ NL/m} \\ \text{Debit bahan bakar (Q}_{\text{fuel}}\text{)} &= 0,167 \text{ NL/m} \\ \text{Debit uap air (Q}_{\text{H}_2\text{O}}\text{)} &= 0,14 \text{ NL/m}\end{aligned}$$

Satuan debit aliran fluida NL/m diubah menjadi cm^3/s dengan persamaan:

$$\begin{aligned}Q_{\text{air}} &= 1,1 \frac{\text{NL}}{\text{min}} \\ &= \frac{1,1 \times 1000}{60} \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right) = 18,33 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}\end{aligned}$$

$$Q_{\text{fuel}} = 0,167 \frac{\text{NL}}{\text{min}}$$

$$= \frac{0,167 \times 1000}{60} \left(\frac{cm^3}{s} \right) = 2,78 \frac{cm^3}{s}$$

$$QH_2O = 0,14 \frac{NL}{min}$$

$$= \frac{0,14 \times 1000}{60} \left(\frac{cm^3}{s} \right) = 2,33 \frac{cm^3}{s}$$

Dengan satuan yang sudah sesuai maka dapat dihitung kecepatan reaktan pada equivalence ratio 1,445 sebesar:

$$v = \frac{Q_{air} + Q_{fuel}}{Ab}$$

$$= \frac{(18,33 + 2,78 + 2,33) \frac{cm^3}{s}}{0,786 cm^2}$$

$$= 23,33 \frac{cm}{s}$$

Setelah nilai kecepatan reaktan didapat maka S_L dapat dihitung dengan persamaan sebelumnya (2-5):

$$S_L = v \cdot \sin \alpha$$

$$= 23,33 \cdot \sin 19$$

$$= 23,33 \cdot 0,33$$

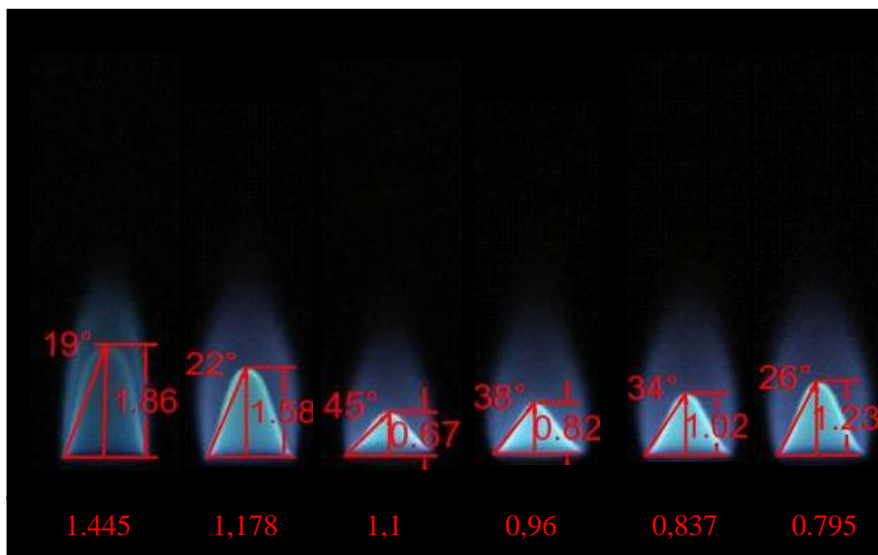
$$= 9,67 \frac{cm}{s}$$

4.3 Pengolahan Data Karakteristik Nyala Api

Pengolahan data visual ini bertujuan untuk mendapatkan nilai karakteristik nyala api. Data karakteristik nyala api yang akan dihitung adalah kecepatan api laminar (S_L) dimana kecepatan api laminar didapat melalui perkalian antara kecepatan reaktan dan sudut api yang terbentuk.

4.3.1 Pengolahan Data Visual Variasi *Equivalence Ratio*

Dibawah ini adalah pengolahan data visual dengan variasi *equivalence ratio* dari terkecil hingga terbesar.



Gambar 4.4 Hasil pengolahan data variasi *equivalence ratio* dengan kadar uap air tetap

Dari Gambar 4.4 diketahui sudut *alpha* (α) pada tiap variasi *equivalence ratio*. Dengan data sudut tersebut maka nilai S_L dapat dihitung seperti pada persamaan (2-5) dengan mengalikan sudut *alpha* (α) dengan kecepatan reaktan.

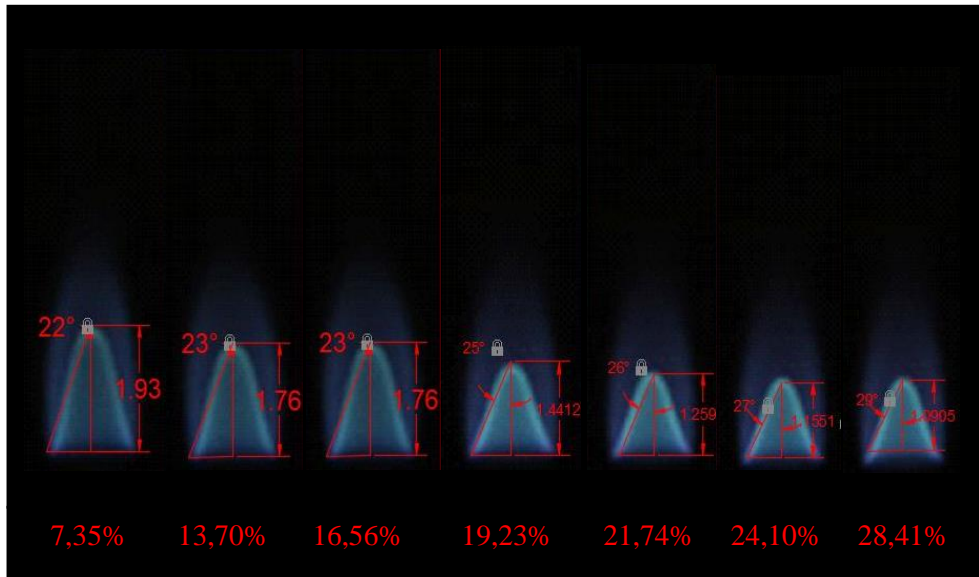
Tabel 4.1

Data Variasi *Equivalence Ratio*

Data Variasi <i>Equivalence Ratio</i>			
ϕ	Tinggi api (cm)	α (°)	v (cm/s)
0,795	1,23	26	51,06
0,837	1,02	34	48,70
0,96	0,82	38	42,81
1,1	0,67	45	38,09
1,128	1,58	22	35,74
1,385	1,86	19	29,85

4.3.2 Pengolahan Data Visual Variasi Kadar Uap Air

Pada visualisasi variasi kadar uap air ditunjukkan berdasarkan kadar uap air terkecil hingga kadar uap air tertinggi.



Gambar 4.5 Hasil pengolahan data variasi kadar uap air

Dari Gambar 4.5 dapat diketahui besar sudut alpha (α) yang terbentuk pada variasi kadar uap air. Dengan demikian dapat dihitung S_L (Kecepatan api laminar) pada tiap variasi kadar uap airnya dengan persamaan (2-5).

Tabel 4.2

Tabel Data Variasi Kadar Uap Air

Kadar Uap Air	Tinggi api (cm)	α (°)	v (cm/s)
0,1	1,93	22	37,47
0,2	1,76	23	37,53
0,25	1,76	23	37,53
0,3	1,44	25	37,74
0,35	1,26	26	37,96
0,4	1,15	27	37,96
0,5	1,01	29	38,17

4.4 Karakteristik Nyala Api

Data yang diamati pada perhitungan karakteristik nyala api disesuaikan dengan rancangan pengamatan pada Metodologi Penelitian yaitu temperatur api, tinggi api dan kecepatan api laminar pada tiap masing-masing variasi. Sehingga didapat tabel hasil data sebagai berikut.

Tabel 4.3

Data Karakteristik Nyala Api Variasi *Equivalence Ratio*

Φ	Tujung (°C)	Ttengah (°C)	S_L (cm/s)	Tinggi api (cm)
0,795	959	935	22,38	1,22
0,837	1006	963	25,81	1,02
0,96	1041	977	26,35	0,67
1,1	1061	1011	26,93	1,23
1,178	1055	991	13,39	1,58
1,445	1018	960	9,72	1,83

Tabel 4.4
Data Karakteristik Nyala Api Variasi Kadar Uap Air

Kadar Uap Air	Tujung (°C)	Ttengah (°C)	SL (cm/s)	Tinggi api (cm)
0,1	1081	997	19,03	1,93
0,2	1148	1058	17,24	1,76
0,25	1160	1079	16,64	1,76
0,3	1177	1094	15,96	1,44
0,35	1192	1105	14,67	1,26
0,4	1210	1130	14,67	1,15
0,5	1228	1155	14,04	1,01

4.5 Bilangan *Reynolds*

Dengan data yang telah ditentukan, maka bilangan *Reynolds* dapat dihitung dengan rumus (2-7) setelah menghitung kecepatan reaktan (*v*) terlebih dahulu. Sebagai contoh perhitungan kecepatan reaktan diambil nilai *equivalence ratio* 1,445.

Diameter *bunsen* (*d*) = 0,01 m

Kecepatan fluida (*U*) = 0,298 m/s

Viskositas absolut (μ) = $10^{-5} \times 1,89 \text{ kg/m.s}$

Densitas campuran (ρ_{camp}) = $1,089 \text{ kg/m}^3$

Maka dapat dihitung nilai bilangan *Reynolds* sebesar:

$$Re = \frac{\rho U d}{\mu} = \frac{1,089 \times 0,298 \times 0,01}{10^{-5} \times 2,08} = 171,50$$

Tabel 4.5
Bilangan *Reynolds* Variasi *Equivalence Ratio*

<i>Equivalence Ratio</i> (Φ)	Bilangan <i>Reynolds</i>
0,795	293,35
0,837	279,81
0,96	245,96
1,1	218,88
1,178	205,35
1,445	171,50

Pada Tabel 4.5 ditunjukkan bilangan *Reynolds* pada setiap variasi *equivalence ratio* yang telah didapat sebelumnya. Sesuai dengan tabel, bilangan *Reynolds* mengalami penurunan seiring meningkatnya *equivalence ratio*. Hal tersebut disebabkan oleh semakin kecilnya *equivalence ratio* maka kecepatan reaktan pun menurun yang juga mengakibatkan penurunan bilangan *Reynolds*.

Tabel 4.6
Bilangan *Reynolds* Variasi Kadar Uap Air

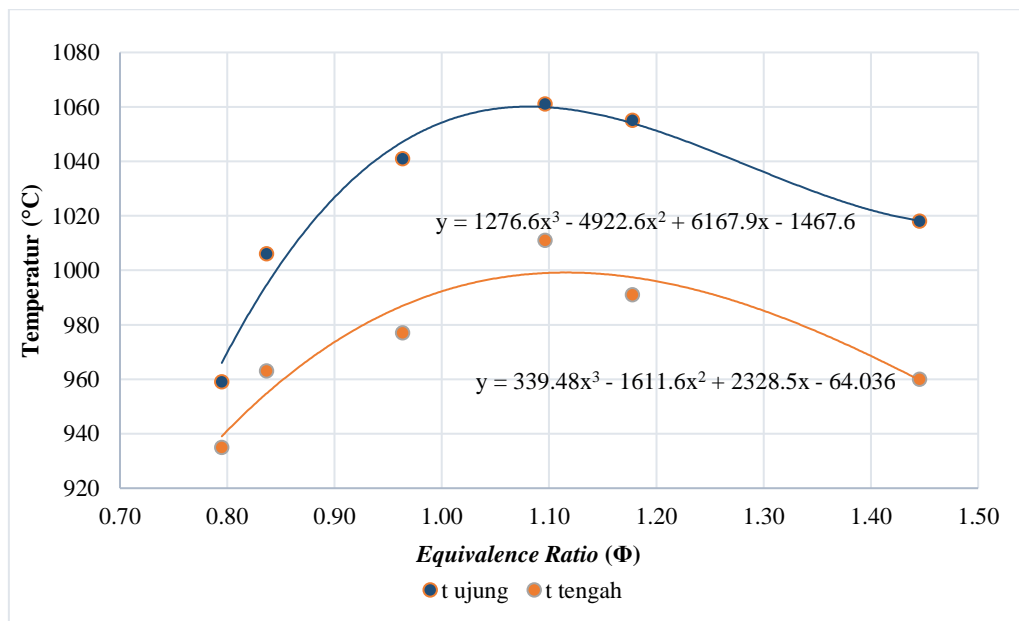
Kadar Uap Air (%)	Bilangan <i>Reynolds</i>
7.32	237,24
13.63	236,07
16.48	236,36
19.14	235,01
21.65	233,45
24.00	233,78
28.30	232,97

Pada perhitungan Tabel 4.6 memperlihatkan pengaruh kadar uap air terhadap bilangan *Reynolds* pada aliran fluida. Ditunjukkan pada tabel bahwa bilangan *Reynolds* relatif stabil. Hal tersebut dikarenakan *equivalence ratio* yang digunakan adalah sama. Bilangan *Reynolds* mengalami penurunan kecil diakibatkan pengaruh kadar uap air yang semakin meningkat, karena kadar uap air dapat menghambat kecepatan aliran reaktan.

4.6 Pembahasan

Pada grafik dibawah ini akan ditunjukkan hasil penelitian pengaruh variasi *equivalence ratio* terhadap temperatur nyala api, tinggi api dan kecepatan api laminar. Dalam penelitian ini diberikan juga campuran tambahan yaitu kadar uap air, dimana pada setiap *equivalence ratio* yang sudah ditentukan diberikan kadar uap air tetap yaitu 10%.

4.6.1 Hubungan antara *Equivalence Ratio* terhadap Temperatur Api



Gambar 4.6 Grafik pengaruh *equivalence ratio* terhadap temperatur api dengan kadar uap air 10%

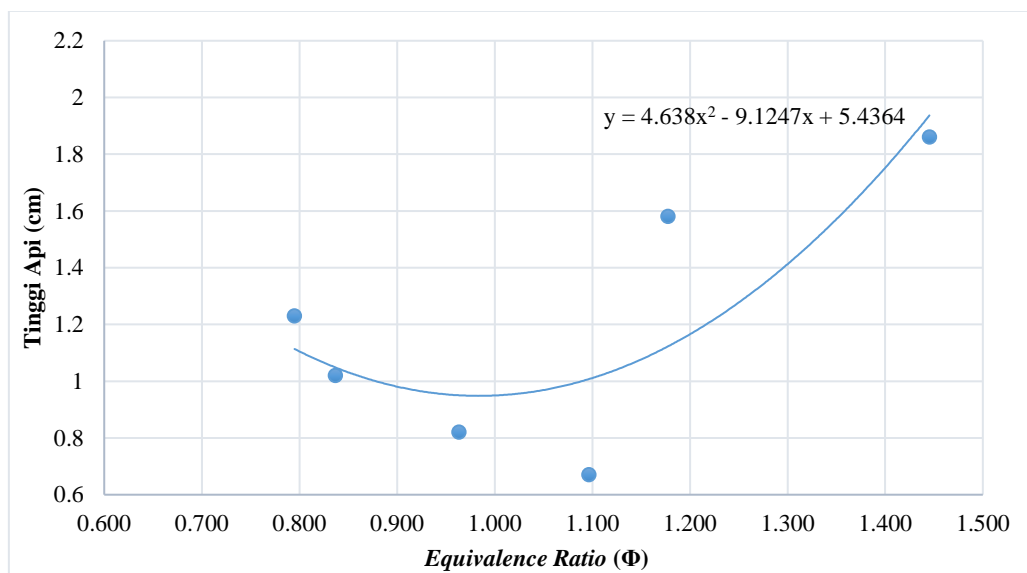
Pada gambar 4.6 dijelaskan hubungan temperatur terhadap variasi *equivalence ratio*, dimana titik biru menunjukkan temperatur pada ujung api dan titik jingga menunjukkan temperatur tengah api. *Equivalence ratio* yang digunakan adalah 0,795 ; 0,837 ; 0,96 ; 1,1 ; 1,178 dan 1,445 pada kadar uap air tetap 10%.

Dapat dilihat temperatur api cenderung meningkat seiring meningkatnya *equivalence ratio*. Urutan temperatur ujung api berdasarkan *equivalence ratio* terendah hingga tertinggi adalah 959; 1006; 1041; 1061; 1051; 1018 dan pada temperatur tengah api adalah 935; 963; 977; 1011; 991; 960, nilai dalam satuan (°C).

Nilai temperatur api *premixed* cenderung mengalami kenaikan saat mendekati nilai *equivalence ratio* 1 dikarenakan campuran reaktan semakin maksimal dan terbakar hampir sempurna, namun setelah melewati 1 temperatur akan kembali menurun yang diakibatkan oleh kurangnya udara sebagai campuran reaktan membuat pembakaran tidak baik yang mengakibatkan bahan bakar yang tidak berikatan sebelumnya terbakar secara difusi.

Pada grafik juga ditunjukkan bahwa temperatur ujung lebih tinggi dibandingkan temperatur tengah api. Hal tersebut dikarenakan reaksi pembakaran dimulai dari bibir *bunsen* menuju ujung api sehingga temperatur semakin tinggi.

4.6.2 Hubungan antara *Equivalence Ratio* terhadap Tinggi Api



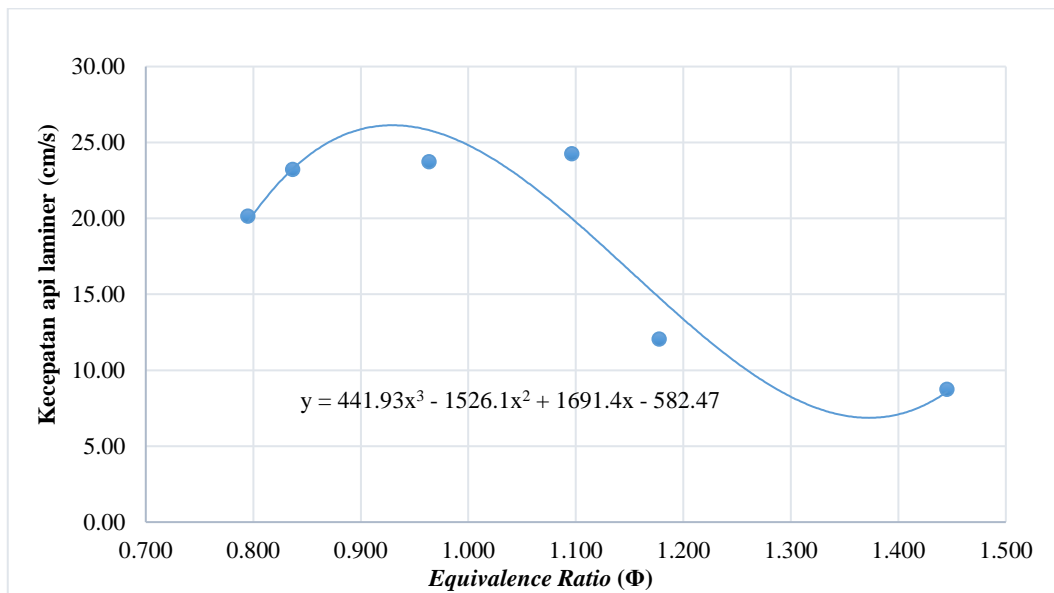
Gambar 4.7 Grafik pengaruh *equivalence ratio* terhadap tinggi api dengan kadar uap air 10%

Pada Gambar 4.7 ditunjukkan hubungan tinggi api terhadap variasi *equivalence ratio* dengan *equivalence ratio* sebesar 0,795; 0,837; 0,96; 1,1; 1,178 dan 1,445 pada kadar uap air sama yaitu 10%. Hasil penelitian tinggi api dengan urutan *equivalence ratio* terendah hingga tertinggi adalah 1,23; 1,02; 0,82; 0,67; 1,58 dan 1,83 dengan satuan dinyatakan

dalam (cm). Hasil data menunjukkan bahwa tinggi api laminar menurun saat mendekati *equivalence ratio* 1 dan meningkat kembali setelah melewati *equivalence ratio* 1.

Peningkatan tinggi api dikarenakan *equivalence ratio* mendekati 1 menyebabkan kadar reaktan semakin bercampur sempurna dan mengakibatkan kecepatan pembakaran meningkat yang dapat menurunkan tinggi api, disamping itu tidak terdapat bahan bakar sisa pada reaktan yang memungkinkan api terbakar secara difusi. Penurunan kadar udara di dalam reaktan (*equivalence ratio* melewati 1) menyebabkan kecepatan reaktan melambat, namun banyak bahan bakar yang belum terbakar sempurna sehingga sisa bahan bakar bercampur secara difusi yang menyebabkan api menjadi lebih tinggi.

4.6.3 Hubungan antara *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Api Laminar



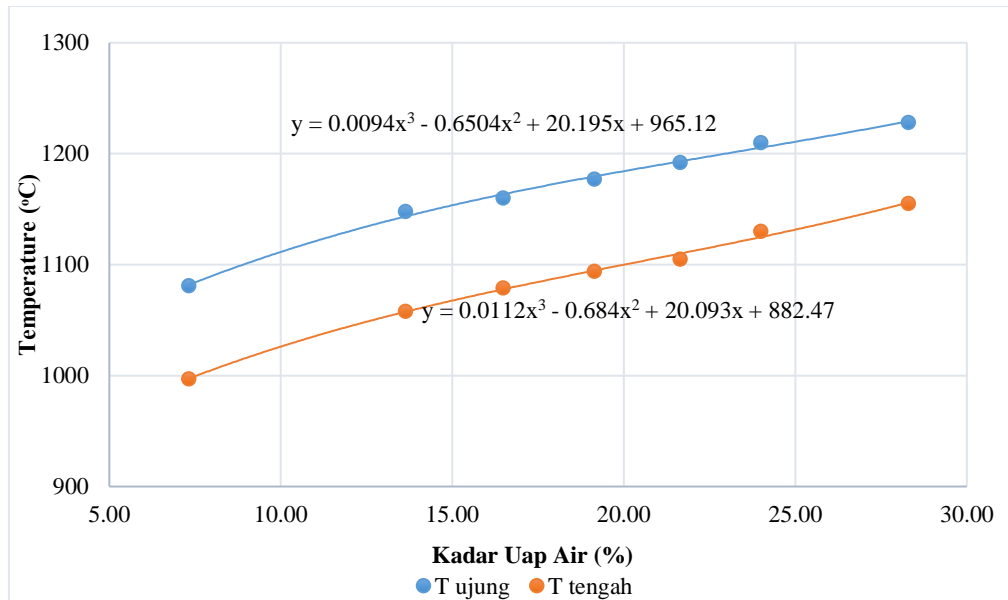
Gambar 4.8 Grafik pengaruh *equivalence ratio* terhadap kecepatan api laminar dengan kadar uap air 10%

Pada Gambar 4.8 dijelaskan hubungan kecepatan api laminar terhadap variasi *equivalence ratio* dengan variasi *equivalence ratio* sebesar 0,795; 0,837; 0,99; 1,1; 1,178 dan 1,445 dengan kadar uap air tetap 10%. Terhitung pada data kecepatan api laminar mengalami penurunan dengan meningkatnya *equivalence ratio*. Kecepatan api laminar berdasarkan kenaikan *equivalence ratio* adalah 20,15; 23,23; 23,73; 14,25; 12,05 dan 8,75 dengan data dinyatakan dalam satuan cm/s.

Pada persamaan (2-5) kecepatan api laminar dipengaruhi oleh kecepatan reaktan dan sudut yang dihasilkan pada nyala api. Semakin kecil *equivalence ratio* maka kecepatan reaktan semakin meningkat, namun disamping itu sudut api yang terbentuk akan semakin besar saat mendekati *equivalence ratio* 1 dan akan mengecil kembali setelah melewati 1.

Hal tersebut dikarenakan pembakaran yang semakin sempurna membuat tinggi api semakin kecil dan sudut yang terbentuk pun akan semakin besar.

4.6.4 Hubungan antara Kadar Uap Air terhadap Temperatur Api



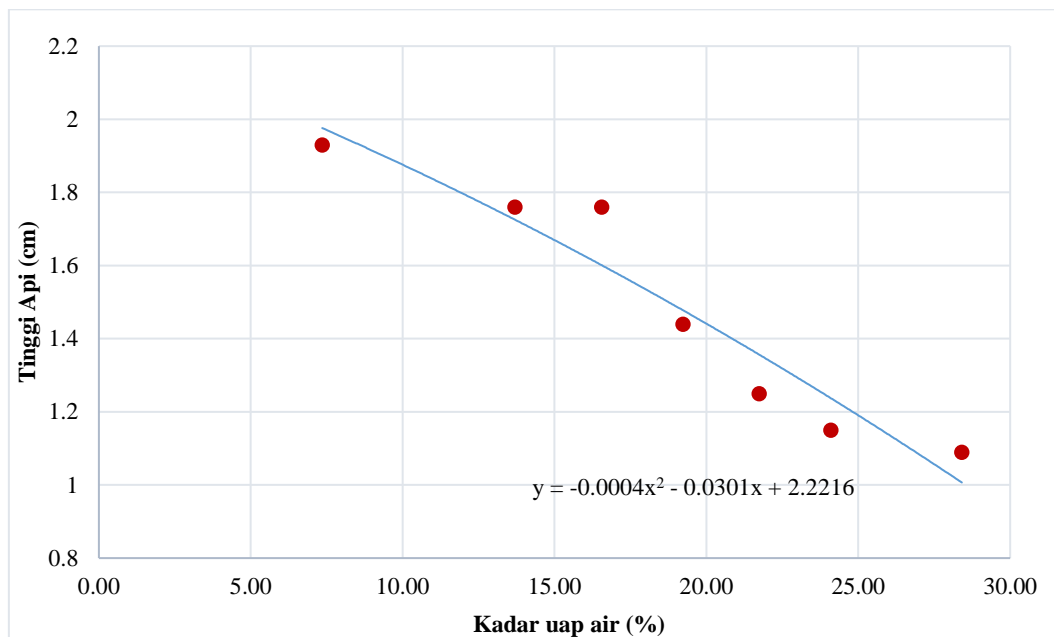
Gambar 4.9 Grafik pengaruh kadar uap air terhadap temperatur api dengan *equivalence ratio* 1,445

Pada Gambar 4.9 dijelaskan hubungan temperatur terhadap variasi kadar uap air, dimana titik biru menunjukkan temperatur pada ujung api dan titik jingga menunjukkan temperatur tengah api. Seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya kadar uap air yang digunakan adalah 7,32%; 13,63%; 16,48%; 19,14%; 21,65%; 24,00% dan 28,30%. pada *equivalence ratio* sama yaitu 1,385.

Dapat dilihat temperatur api pada variasi kadar uap air cenderung meningkat seiring meningkatnya kadar uap air. Urutan temperatur ujung api berdasarkan kadar uap air terendah hingga tertinggi adalah 1081; 1148; 1160; 1177; 1192; 1210; 1228 dan temperatur tengah adalah 997; 1058; 1079; 1094; 1105; 1130 dan 1155 dengan satuan dalam (°C).

Temperatur yang dihitung pada penelitian dengan variasi kadar uap air terus mengalami peningkatan dari kadar uap air terkecil hingga terbesar. Semakin meningkatnya kadar uap air maka temperatur nyala api akan semakin meningkat, dimana kejadian ini diakibatkan oleh terpisahnya H_2 dari ikatannya (H_2O) saat terjadi pembakaran dimulut *bunsen*. Pada dasar teori dapat dilihat bahwa tinggi temperatur H_2 berada jauh diatas jenis bahan bakar hidrokarbon lainnya.

4.6.5 Hubungan antara Kadar Uap Air terhadap Tinggi Api

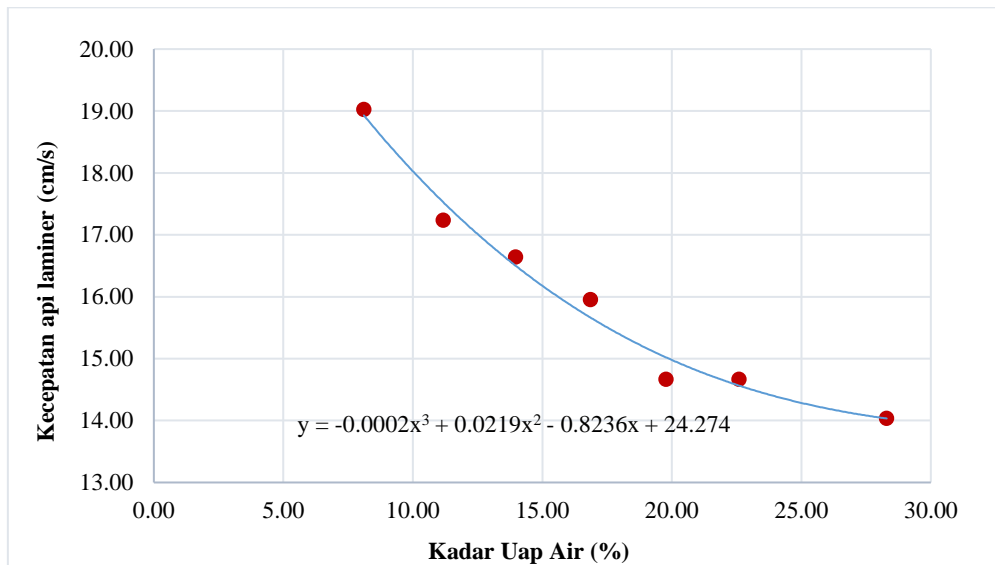


Gambar 4.10 grafik pengaruh kadar uap air terhadap tinggi api dengan *equivalence ratio* 1,445

Pada Gambar 4.10 ditunjukkan pengaruh dari variasi kadar uap air terhadap tinggi api dengan variasi kadar uap air sebesar 7,32%; 13,63%; 16,48%; 19,14%; 21,65%; 24,00% dan 28,30%.

Dapat dilihat pada grafik bahwa semakin besar persen uap air yang dimiliki oleh reaktan maka tinggi api juga relatif semakin menurun dimana tinggi api yang terbentuk sebesar 1,93; 1,76; 1,76; 1,44; 1,25; 1,15 dan 1,09 dalam satuan cm. Hal tersebut dipengaruhi oleh kadar uap air dimana kadar uap air yang meningkat dapat menghambat kecepatan pembakaran karena uap air memiliki viskositas (kekentalan) molekul yang relatif tinggi yang menyebabkan tinggi api menurun. Viskositas yang semakin besar akan mengakibatkan gesekan antara molekul fluida dengan dinding selang dan *bunsen* meningkat pula. Hal ini mengakibatkan kecepatan reaktan melambat dan menyebabkan tinggi api semakin lama semakin mengecil.

4.6.6 Hubungan antara Kadar Uap Air terhadap Kecepatan Api Laminer



Gambar 4.11 Grafik pengaruh kadar uap air terhadap kecepatan api laminar dengan *equivalence ratio* 1,445

Gambar 4.10 menjelaskan hubungan kecepatan api laminar terhadap variasi kadar uap air. Variasi kadar uap air yang digunakan adalah 7,32%; 13,63%; 16,48%; 19,14%; 21,65%; 24,00% dan 28,30%.

Pada grafik ditunjukkan bahwa semakin besar persentase kadar uap air maka kecepatan api laminar (S_L) juga relatif menurun dimana nilai kecepatan api laminernya adalah 19,03; 17,27; 16,64; 15,96; 14,67; 14,67; 14,04 dengan satuan cm/s. Hal ini disebabkan oleh kadar uap air yang meningkat akan semakin menghambat laju pembakaran yang berarti menurunkan kecepatan reaktan. Hal tersebut dikarenakan uap air relatif sulit untuk dibakar sehingga reaktan yang ada akan semakin sulit untuk terbakar karena telah berikatan sebelumnya dengan uap air yang mengalir bersamaan dengan reaktan.

